

**Universitat de Lleida**  
**Facultat d'Infermeria**  
**i Fisioteràpia**

# **Efectos del vuelo espacial humano y cuidados enfermeros para su prevención**

Una revisión bibliográfica

Ana Alicia Mira Orgill

Grado en Enfermería

Miguel Ángel Escobar Bravo

Trabajo de Fin de Grado (TFG)

Curso 2017-2018

Lleida, 14 de mayo de 2018

## Resumen y abstract

Los planes de la humanidad de asentarse en Marte están cada vez más cerca. Desafortunadamente, se conoce que los efectos del vuelo espacial humano sobre la salud aumentan exponencialmente junto con el tiempo de exposición al ambiente espacial. Por ello, es importante formar expertos en salud que creen un equipo interdisciplinar para mantener la buena salud de los astronautas y asegurar el éxito de su misión. Aquí entra en juego la enfermería espacial. Esta especialización relativamente nueva no es muy conocida, y por ello, se ha visto necesario realizar una búsqueda bibliográfica sobre los efectos nocivos del vuelo espacial humano y el papel de enfermería en su prevención. Se ha confirmado que los efectos del vuelo espacial humano son a nivel biopsicosocial, que los hombres y las mujeres se ven afectados de manera distinta, y que no hay un método óptimo para su prevención a día de hoy.

*Els plans de la humanitat d'assentar-se a Mart estan cada vegada més a prop. Desafortunadament, es coneix que els efectes del vol espacial humà sobre la salut augmenten exponencialment juntament amb el temps d'exposició a l'ambient espacial. Per això, és important formar experts en salut que creïn un equip interdisciplinari per mantenir la bona salut dels astronautes i assegurar l'èxit de la seva missió. Aquí entra en joc la infermeria espacial. Aquesta especialització relativament nova no és molt coneguda, i per això, s'ha vist necessari realitzar una recerca bibliogràfica sobre els efectes negatius del vol espacial humà i el paper d'infermeria en la seva prevenció. S'ha confirmat que els efectes del vol espacial humà són a nivell biopsicosocial, que els homes i les dones es veuen afectats de manera diferent i que no hi ha un mètode òptim per a la seva prevenció a dia d'avui.*

*Humanity's plans to settle on Mars are getting closer. Unfortunately, it is known that the effects of human spaceflight on health increase exponentially along with the time of exposure to the space environment. Therefore, it is important to train health experts and create interdisciplinary teams to maintain astronauts' health and ensure the success of their mission. Here is where space nursing comes into play. This relatively new specialization is not well known, and therefore it has been necessary to conduct a literature search on the effects of human space flight and the role of nursing in their prevention. It was confirmed that the harmful effects of human spaceflight are at the biopsychosocial level, that men and women are affected differently and that there is no optimal method for their prevention today.*

Palabras clave:

*Health, Human space flight, Prevention, Genre.*

# Índice

Abreviaciones	1
Introducción	2
Marco conceptual	4
Conceptos astronáuticos	4
Astronauta	4
El vuelo espacial humano	4
La Estación Espacial Internacional	4
Conceptos generales	5
Sexo y género	5
Los riesgos laborales	5
Factores de riesgo	6
El aislamiento	6
La alimentación	6
Los antecedentes profesionales	7
El confinamiento	8
El estrés	8
La fuerza $g$	8
La genética	9
La microgravedad	9
La radiación	9
Justificación	11
Objetivos	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
Metodología	13
Efectos del vuelo espacial	14
Efectos del aislamiento	19

Efectos de la alimentación	20
Efectos de los antecedentes profesionales	22
Efectos del confinamiento	22
Efectos del estrés	22
Efectos de la fuerza $g$	23
Efectos de la genética	23
Efectos de la microgravedad	23
Efectos de la radiación	25
Prevención de los efectos del vuelo espacial	27
El aislamiento	27
La alimentación	27
Los antecedentes personales	28
El confinamiento	28
El estrés	29
La fuerza $g$	29
La genética	29
La microgravedad	29
La radiación	30
Funciones de enfermería en la exploración espacial humana	32
Función docente	32
Función asistencial	33
Función gestora	34
Función investigadora	34
Conclusiones	36
Bibliografía	38

## Abreviaciones

CSA: Agencia Espacial Canadiense o *Canadian Space Agency*

EAC: Centro Europeo de Astronautas o *European Astronaut Centre*

ESA: Agencia Espacial Europea o *European Space Agency*

EVA: Actividades extravehiculares o *Extravehicular Activities*.

EVEH: Efectos del Vuelo Espacial Humano.

FKA: Agencia Espacial Federal Rusa o Roscosmos

FMC: Clínica de Medicina de Vuelo o *Flight Medicine Clinic*

ISS: Estación Espacial Internacional o *International Space Station*.

ITU: Infección del tracto urinario

JAXA: Agencia Japonesa de Exploración Espacial o *Japan Aerospace Exploration Agency*

LCR: Líquido cefalorraquídeo

KSC: Centro Espacial Kennedy o *Kennedy Space Center*

MEG: Mal estar general

NASA: Administración Nacional de la Aeronautica y del Espacio o *National Aeronautics and Space Administration*

RMN: Resonancia magnética nuclear.

SNS: Sociedad de Enfermería Espacial o *Space Nursing Society*

VEH: Vuelo espacial humano

## Introducción

Hace casi 50 años, el 21 de julio de 1969, la misión Apolo 11 culminó con la llegada del ser humano a la Luna (1), concretamente la tripulación formada por Neil Armstrong, Buzz Aldrin y Michael Collins. Aun así, una pequeña parte de la humanidad ya había orbitado la Tierra, exponiéndose a factores de riesgo como la microgravedad o la radiación espacial, desde 1961. Este año es el que protagonizó Yuri Gagarin, la primera persona en arriesgarse a sufrir estos factores de riesgo, siendo el primero en embarcarse en un vuelo orbital de 3 días (2).

Las mujeres, como en todos los otros campos de la exploración (quepa como ejemplo la exploración de la Antártida o de las profundidades del océano), se vieron apartadas a un segundo plano hasta años después. El 16 de junio de 1963, Valentina Tereshkova pilotó el Vostok 6 para realizar 3 días de órbita terrestre (3), igual que su camarada Gagarin.

Desde ese momento, los profesionales de la salud que trabajaban para el programa espacial ruso vieron diferencias en la adaptación del cuerpo de Gagarin y Tereshkova al entorno espacial. Estos síntomas fueron dados por irrelevantes en esa época, ya que no se le daba gran importancia al bienestar de los astronautas. Esto era a razón de la competitividad en la Carrera Espacial que se estaba llevando a cabo entre la Unión Soviética y Estados Unidos (4). Por ello, no se empezó a investigar en el campo de la medicina espacial hasta los años 70, una vez resuelta esta carrera que representa una pieza clave en el desarrollo de la Guerra Fría.

Aun así, desde ese momento se supo que los efectos del vuelo espacial humano (EVEH) son muy diversos, y aunque haya bibliografía extensa, en muchos casos no se conoce su causa en profundidad. De esta misma manera, no se conocen los efectos sobre la salud de los astronautas a largo plazo (4) ni una manera totalmente eficaz de prevenirlos. Por esta razón, las agencias espaciales se preocupan de la salud actual de sus astronautas, y por lo tanto hacen todo lo posible para contrarrestar estos efectos, a modo de prevención de futuras enfermedades.

El VEH afecta la salud de las personas a nivel biopsicosocial. La vida en el espacio comporta una adaptación importante, ya que significa vivir en un espacio reducido y un ambiente hostil durante un tiempo que puede ir desde las 72 horas (como la mayoría de los vuelos orbitales tripulados por una sola persona) hasta los 437 días que realizó Valeri Polyakov en la Estación Espacial Mir, actual récord de estancia espacial (5).

Los astronautas se arriesgan a sufrir los EVEH a nivel de lo inevitable, y por su contrato deben aceptar dichos efectos como parte de su trabajo. Esto lleva lugar a que los efectos del VEH no sean más que un riesgo laboral para estas personas. El VEH tiene muchos efectos sobre el cuerpo humano, y estos afectan de manera individual según varios factores, como puede ser el genotipo (6–8), el estado físico (9) o el género (10) del astronauta en cuestión.

Algunos de los efectos más conocidos son aquellos sobre el sistema musculoesquelético. Igual que el reposo en cama prolongado (11) que se puede observar en la práctica enfermera hospitalaria, el hecho de estar en microgravedad durante más de 72 horas afecta en gran medida la fuerza muscular y la mineralización ósea (12). Los músculos y huesos que mantienen la postura son los que se ven más afectados, ya que durante las sesiones de ejercicio profiláctico que realizan los astronautas no se consiguen ejercitar ni una fracción de lo que se ejercitan en la Tierra (13). Otros efectos de la microgravedad son la disminución de la función hepática, de la renal y del sistema inmune (14), entre otros.

También es evidente que los astronautas se ven aislados del resto de la humanidad (15). De esta manera, si ocurre algún accidente (como por ejemplo una parada cardiorrespiratoria o un traumatismo grave), no se dispone de los mejores medios para salvarles la vida.

Esto sumado al hecho de que tienen agendas muy apretadas durante su estancia en la Estación Espacial Internacional (ISS por sus siglas en inglés, *International Space Station*), se exponen a niveles de estrés más altos que la persona promedio. Esto también afecta potencialmente de manera negativa a su salud (16), ya que da lugar a trastornos del sueño y ansiedad, entre otros.

Por último cabe también mencionar la exposición a unos niveles de radiación mayores que en la Tierra. Al no estar completamente protegidos por el campo magnético terrestre (17), los astronautas se exponen a mayores cantidades de rayos cósmicos, cosa que puede afectar a muchos niveles, siendo el más importante el aumento del riesgo de padecer cáncer (18).

## Marco conceptual

Este trabajo contiene algunos conceptos clave poco conocidos por el público general. Por ello, se ha visto necesario añadir este apartado para presentarlos.

### Conceptos astronáuticos

#### Astronauta

Por razones políticas, los astronautas de diferentes países se denominan de manera distinta. Siendo esto así, los astronautas rusos prefieren ser referidos como *cosmonautas*, al igual que otros países de influencia de la antigua Unión Soviética. De la misma manera, los astronautas del programa espacial chino son referidos como *taikonautas* (19).

Aun así, el término astronauta es el que se usa de manera más extensa, ya que es la terminología utilizada por la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés *European Space Agency*), la Agencia Nacional de la Aeronáutica y el Espacio (más conocida como NASA, por sus siglas en inglés *National Aeronautics and Space Administration*) y la Agencia Espacial Canadiense (CSA, por sus siglas en inglés *Canadian Space Agency*). La palabra astronauta se refiere a toda persona que se encuentre más allá de la órbita terrestre (19). Astronauta es el término que se usará a lo largo del trabajo para incluirlos a todos.

#### El vuelo espacial humano

El vuelo espacial humano (VEH) diferencia de otras formas de exploración espacial por el hecho de que va tripulado por personas, en vez de ser, por ejemplo, una sonda controlada remotamente desde la Tierra. Hoy en día, gracias a la ISS hay presencia espacial humana permanente desde el año 2000, con al menos 3 tripulantes que llevan a cabo estancias de al menos 3 meses (20).

#### La Estación Espacial Internacional

La ISS es el centro de investigación científica en órbita terrestre en la que rotan equipos de astronautas investigadores de las cinco agencias espaciales más importantes. Estas son (20):

- La ESA
- La NASA
- La CSA
- La Agencia Espacial Federal Rusa (FKA o Roscosmos)
- La Agencia Japonesa de Exploración Espacial (JAXA)



La ISS ha estado en continua construcción desde 1998, convirtiéndose en el objeto artificial más grande en órbita terrestre, con unas dimensiones de aproximadamente 100 m x 100 m x 30 m. Se encuentra aproximadamente a unos 400 km de la superficie terrestre (20). Gracias a esta construcción, se conocen con más profundidad los efectos del VEH de larga duración, ya que hay una tripulación de como mínimo 3 personas desde el año 2000.

## Conceptos generales

### Sexo y género

Mientras que el sexo es la condición biológica de los seres vivos que separa una especie entre machos y hembras, el género se refiere a las características socialmente construidas que definen el sexo femenino y el masculino. Estas características consisten en las normas, comportamientos, roles y relaciones que varían de una sociedad a otra. La sociedad espera que el rol de género se ajuste al sexo, pero esto no siempre se cumple (21).

Aunque hasta fecha de hoy no hay ningún astronauta que identifique su género abiertamente de manera diferente a su sexo, es importante tener en cuenta la diferencia entre sexo y género en este trabajo, ya que el vuelo espacial afecta de manera distinta a hombres y mujeres. Además, es interesante observar las diferencias en el perfil profesional de los hombres y mujeres astronautas y de los roles de género en el campo de la astronáutica, que se describe en el apartado sobre los EVEH.

### Los riesgos laborales

Los riesgos laborales son todos aquellos factores que pueden afectar a la salud e integridad de los trabajadores de una empresa. La legislación española (22) obliga a todo empresario a:

- Tener un plan de prevención de los riesgos laborales probables en el entorno de trabajo
- Hacer una evaluación de los riesgos para la seguridad y la salud en el trabajo, con controles periódicos para tener dicha evaluación al día
- Planificar actividades preventivas para estos riesgos, incluyendo las medidas de protección como el material o las precauciones necesarias para llevar a cabo las actividades laborales
- Hacer controles periódicos del estado de salud de los trabajadores

En la NASA cuentan con el Mapa de Investigación Humana (*Human Research Roadmap*) y el Vigilancia de la Salud de los Astronautas de por Vida (*Lifetime Surveillance of Astronaut Health*) para

llevar a cabo estos controles (23,10). Esta información está abierta al público general y es accesible a través de la página web de la NASA. Además, efectivamente tienen un plan de acción para la prevención, control y tratamiento de los EVEH.

La ESA por otro lado no cuenta con este tipo de iniciativas, pero aun así se encarga de la selección, entrenamiento, apoyo y vigilancia de los astronautas europeos. Todas estas funciones se hacen desde el Centro Europeo de Astronautas (EAC, por sus siglas en inglés, *European Astronaut Centre*), en Colonia, Alemania. Es el principal centro de la ESA que brinda apoyo al compromiso europeo con el programa espacial. Sus funciones incluyen (24):

- Selección y preparación de astronautas para misiones en la ISS
- Planificación y programación de las actividades y asignaciones de vuelo de los astronautas
- Mantenimiento de su salud proporcionando asistencia médica incluyendo medicina preventiva, medicina basada en la evidencia, apoyo psicológico y asesoramiento nutricional a astronautas europeos

## **Factores de riesgo**

### **El aislamiento**

El aislamiento que se padece en la ISS es un concepto muy estudiado por la NASA (15). Se conoce que los problemas en la dinámica de grupo después de varios meses en compañía de otras 5 personas son inevitables, por muy entrenados que estén los astronautas que configuran la tripulación. Además, los astronautas no se pueden comunicar de manera normal con su familia y amigos durante su estancia en el espacio. Por estos motivos, este aislamiento es un factor de riesgo inevitable.

### **La alimentación**

Como en los pacientes de la práctica asistencial diaria, la alimentación tiene un papel muy importante en la salud de los astronautas. Estos comen tres comidas al día, y sus nutricionistas de Tierra se aseguran de que todo lo que comen les proporcione una cantidad apropiada de calorías, nutrientes, vitaminas y minerales. Esto se calcula en base a sus características personales, como pueden ser la edad, la constitución física y el sexo. Por esto, su dieta se estudia al detalle y está bajo gran vigilancia (25).

La comida servida en la ISS tiene que tener ciertas características importantes para ser adecuada a las condiciones del vuelo espacial. Esto significa que a la ISS solo se envían ciertos tipos de alimentos. Las características más importantes son que los preparados deben tener son (26):

- Que tengan una fecha de caducidad lejana, ya que solo se envían dietas una vez cada 3 meses
- Que no necesiten refrigeración, ya que en la ISS no poseen neveras
- Que no suelten partículas, ya que estas pueden ser aspiradas accidentalmente y se atascan en los filtro de aire que utiliza la ISS para reciclar el aire
- Que sea fácil y rápido de preparar, ya que los astronautas tienen un tiempo libre reducido para comer

Por estas razones, la mala alimentación de los astronautas supone un factor de riesgo evitable mediante la organización de menús ricos nutricionalmente (27).

### **Los antecedentes profesionales**

Los requisitos para ser astronauta han ido cambiando durante los últimos 40 años. La NASA aclara que “hoy en día, ser un soldado con un grado en ingeniería no es la única puerta de acceso a esta profesión”. Para presentarse a ser astronauta, se deben cumplir los siguientes requisitos (28):

- Tener como mínimo una licenciatura en ingeniería, biología, física, informática o matemáticas
- Tener al menos tres años de experiencia profesional, o 1.000 horas de tiempo de piloto al mando en un avión a reacción
- Tener las capacidades para aprobar las pruebas físicas
- Poseer habilidades de liderazgo, trabajo en equipo y comunicación
- Tener las capacidades para superar una entrevista de selección de las personas más preparadas para el oficio a nivel mental y psicológico
- Poder finalizar el entrenamiento físico para astronautas de aproximadamente 2 años de duración

Aunque el proceso de selección haya cambiado, los solicitantes con servicio militar anterior tienen de 8 a 10 veces más probabilidades de ser seleccionados para el programa espacial (29).

Esto se debe a que el estado físico de los candidatos de origen militar es mucho más apto para las pruebas físicas que el de los de origen civil, por norma general.

### **El confinamiento**

El confinamiento es un concepto solo aplicable a sitios de difícil acceso, como puede ser la ISS. La comunicación entre la Tierra y la ISS tiene un retraso aproximado de 1 segundo, por lo que la comunicación no es el problema, si no el contacto físico (20).

Esto significa que si surge cualquier emergencia médica, enviar al paciente de vuelta a la Tierra para una correcta atención sanitaria puede ser complicado, llevando un espacio de tiempo de como mínimo casi 4 horas en condiciones óptimas. Esto conlleva a que cualquier accidente pueda ser mortal, y por lo tanto hay que tener mucha precaución (20). Por esta razón, el confinamiento es un factor de riesgo inevitable.

### **El estrés**

El estrés provoca efectos en la salud de los astronautas (30) que pueden afectar en gran medida el éxito de una misión (16). Por ello, el equipo tanto de Tierra como de la tripulación intenta en todo lo posible mitigar los efectos del estrés, aunque es un factor de riesgo inevitable hasta cierto punto.

### **La fuerza $g$**

La fuerza  $g$  es una medida que relaciona la aceleración de un objeto con el aumento de percepción de peso sobre el mismo. Simplificadamente, es la sensación de aumento de peso por el aumento de velocidad. En condiciones normales, los humanos se encuentran a 1  $g$ , que es la fuerza que produce la gravedad de la Tierra (17).

Los astronautas, al escapar la atmosfera terrestre, se someten a entre 7 y 8 fuerzas  $g$ . Esta fuerza lleva los fluidos corporales hacia las extremidades inferiores. Por esta razón, se adopta una posición semihorizontal al despegar (antitrendelenburg) (19). Más allá, se llega al punto de  $g$ -LOC, en que la mayoría de personas perderían el conocimiento por la migración de fluidos corporales hacia las extremidades inferiores (17,19). La fuerza  $g$  es por tanto un factor de riesgo inevitable, pero controlado en la medida de que no causa grandes problemas en la salud de los astronautas mediante el control de la velocidad de escape.

## **La genética**

Muchos de los estudios analizados tienen en cuenta la genética de los astronautas como factor de riesgo para desarrollar ciertas dolencias (6–8). Recientes investigaciones sugieren que algunos genes podrían estar involucrados en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (8) o el cáncer (6).

De este modo, la genética de los astronautas conlleva un factor de riesgo inevitable, aunque podría convertirse en uno evitable si se hiciera cribado genético entre astronautas. Esto conllevaría rechazar a los aspirantes que tuvieran alelos que podrían llevar a desarrollar ciertas dolencias. Esta práctica tiene grandes controversias, así que no ha sido aplicada por ahora.

Por otro lado, tenemos la diferenciación genética entre hombres y mujeres. Hasta junio de 2013, un total de 129 estadounidenses han volado a la ISS. De éstos, solo un 20% fueron mujeres. Esto demuestra que las mujeres tienen cierta desventaja en el campo de la exploración espacial.

## **La microgravedad**

La gravedad es el fenómeno natural por el cual las masas se atraen entre sí. Esta fuerza en la práctica es imposible de eliminar por completo (17), y por ello en la ISS solo se experimenta la llamada microgravedad.

La microgravedad es la condición física a la que se someten los astronautas en la ISS, ya que se ven afectados en pequeña medida por la gravedad de la Tierra y la débil fuerza gravitatoria de la masa de la propia ISS. Esta microgravedad es 10.000 veces menor a la gravedad terrestre (20). La gravedad reducida produce grandes efectos en el cuerpo humano, y es un factor de riesgo inevitable en el ambiente espacial, por ahora.

## **La radiación**

Los rayos cósmicos son una radiación de alta energía originarios de fuera del Sistema Solar (17). Esta radiación tiene graves efectos sobre el cuerpo humano si uno se expone sin protección (31). Por suerte, el campo electromagnético de la Tierra protege a los astronautas de la ISS, ya que desvía en cierta medida las radiaciones (20). La radiación aumentada que sufren los astronautas durante largos periodos de tiempo les obliga a mantener un seguimiento exhaustivo de sus niveles de radiación, ya que puede tener graves efectos en la salud (32). La radiación es por tanto

un factor de riesgo inevitable a día de hoy, pero se están haciendo estudios para mitigar en gran medida sus efectos con la investigación en nuevos materiales más protectores.

## Justificación

La realización de este trabajo podría parecer algo poco útil para la práctica enfermera, pero lo cierto es que las agencias espaciales contratan equipos interdisciplinarios en salud que supervisan el buen estado físico y psíquico de los astronautas.

Además, algunos de los EVEH son extrapolables a la práctica enfermera hospitalaria. Igual que el reposo en cama prolongado (11) que se puede observar en, por ejemplo, una planta de geriatría, el hecho de estar en microgravedad durante más de 72 horas afecta en gran medida la fuerza muscular y la mineralización ósea (12).

Por otro lado, la población de astronautas se expone a unos grados de radiación mucho más altos de lo normal. Esto, aumenta el riesgo de padecer cáncer y problemas cardiovasculares (18), que es la principal causa de muerte de los expertos en VEH (33). Estas patologías, tan estudiadas hoy en día y a la vez no lo suficientemente conocidas, representan un campo de estudio muy importante para los cuidados enfermeros.

Por último, hace falta decir que la humanidad se encuentra en la era de la exploración espacial. La NASA planea enviar humanos al planeta Marte en aproximadamente 15 años (34). Esto provocará que las agencias espaciales necesiten un equipo de profesionales sanitarios preparados más extenso, y por lo tanto la enfermería espacial se podría llegar a hacer más conocida y presente en nuestras vidas.

Los EVEH no dejan de ser un riesgo laboral. Los astronautas están de acuerdo con sufrirlos en la medida de lo inevitable, pero como parte de su equipo interdisciplinario en salud, se tiene la misión de mitigarlos en todo lo posible.

Por todas estas razones, es importante conocer los EVEH y las medidas para intentar prevenirlos. Además, se ha visto necesario conocer las diferencias biopsicosociales que presentan los hombres y las mujeres antes, durante y después del VEH.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Conocer a través de evidencia científica los efectos del VEH y el papel de enfermería en la misión de prevenirlos.

### **Objetivos específicos**

1. Conocer los factores de riesgo del VEH.
2. Conocer los EVEH por factores de riesgo.
3. Conocer la diferencia entre sexos de los problemas de salud que provoca el VEH.
4. Conocer los procedimientos para la prevención de los efectos del VEH.



## Metodología

El objetivo de este trabajo es resolver una pregunta de investigación basándose en la búsqueda bibliográfica de artículos científicos a partir de los cuales se ha obtenido información sobre los efectos del entorno espacial en humanos.

La pregunta planteada es la siguiente:

¿Cuáles son los efectos biopsicosociales del vuelo espacial humano y qué papel tiene enfermería en su prevención?

Con los estudios seleccionados de las diferentes búsquedas bibliográficas utilizando palabras clave en PubMed, una búsqueda de información en la Biblioteca de la Universidad de Surrey y las páginas web de la ESA y la NASA, se redactó una revisión bibliográfica ordenada sobre los EVEH, relacionándolos con la práctica enfermera. A partir de esta información y de los resultados de los estudios encontrados, se ha intentado descubrir todos los EVEH, haciendo una clara diferenciación entre hombres y mujeres por la diferencia que el sexo y el género conlleva en nuestra salud.

Las búsquedas realizadas en PubMed contenían diferentes combinaciones de los siguientes términos Mesh: *Weightlessness* (ingravedez), *Space Flight* (vuelo espacial), *Genre* (género), *Astronauts* (astronautas) y *Health* (salud).

Los filtros utilizados fueron los últimos 10 años, el idioma en inglés y que todos los estudios hayan sido realizados en humanos. De aquí se obtuvieron los artículos utilizados para la revisión bibliográfica del apartado sobre los efectos del VEH.

Seguidamente, se buscaron los protocolos de prevención utilizados por las diferentes agencias espaciales para prevenir estos efectos. Estos protocolos se encontraron en la página web oficial de la NASA y en informes de estudios encontrados en *The National Academies Press*. Cabe mencionar que se utilizó principalmente información de la NASA en la mayoría del trabajo, ya que la agencia norteamericana y europea trabaja bajo los mismos estándares, y la NASA tiene una política de transparencia que les obliga a publicar toda información relevante de manera didáctica en su página web.

Además, se entró en contacto con la Sociedad de Enfermería Espacial (SNS, por sus siglas en inglés *Space Nursing Society*), que amablemente envió un paquete de información sobre su profesión.

Por último, también cabe decir que se han utilizado libros sobre la ISS y los astronautas que ya se encontraban en posesión.

## Efectos del vuelo espacial

*Tabla 1: Artículos utilizados en el apartado de los EVEH*

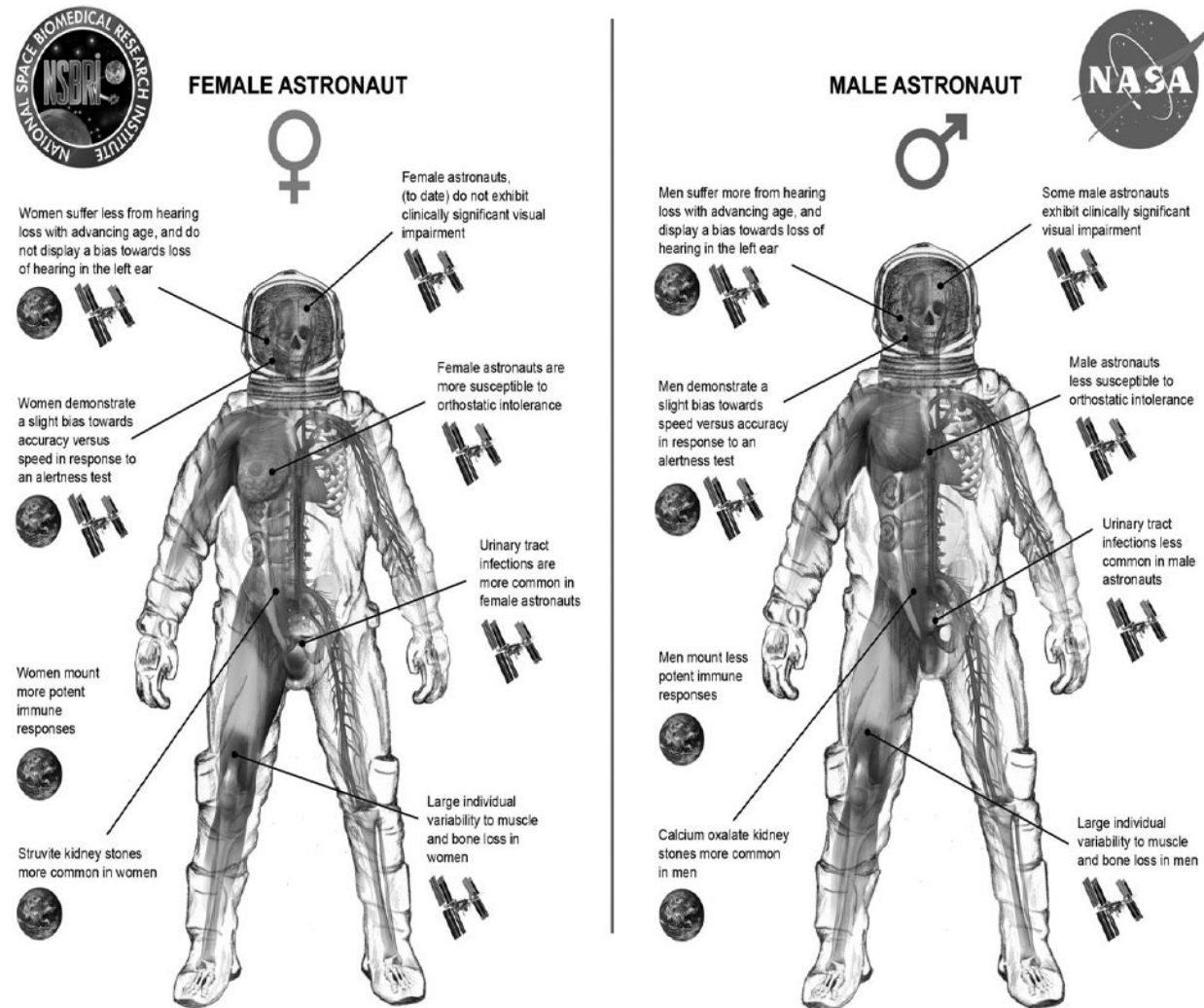
Autor, año y número de cita	Población	Diseño	Variables	Resultado
Zwart SP, 2016 (7)	48 hombres y 9 mujeres	Contrastación de los resultados archivados por la NASA sobre sus astronautas.	Se comparó el genotipo, los niveles de vitamina B 9 y B 12 y los niveles de andrógenos contra la posibilidad de desarrollar varias dolencias oculares provocadas por el entrono espacial.	El cambio en las dioptrías de los astronautas está relacionado con los niveles bajos de vitamina B 9 y B 12 y ciertos genotipos. Este fenómeno es autolimitado al volver a la Tierra. No parece haber diferencias entre sexos en este campo.
Schneider SM, 2016 (13)	8 pares de hombres y 7 pares de mujeres gemelos	Se puso en reposo absoluto durante 30 días a todos los participantes, y uno de cada par de gemelos hacía 40 minutos de ejercicio en cinta de correr con presión negativa 6 veces por semana.	Masa muscular en las extremidades inferiores, fuerza isokinética y resistencia.	No hubo cambios significativos entre ambos grupos, pero se demostró que quien tuviera mejores resultados en las variables antes del experimento, tenían peores resultados al terminar el reposo absoluto. Por tanto, por general los hombres se vieron más afectados.

Cucinotta FA, 2013 (18)	103 hombres y 26 mujeres	Contrastación de los resultados archivados por la NASA sobre sus astronautas.	Se observó la incidencia de cáncer entre astronautas y se extrapolaron los resultados a la radiación recibida en el viaje hacia Marte y en su superficie.	Se estimó que la dosis de radiación recibida durante un viaje a Marte es del 5% de la radiación necesaria para la muerte inducida por exposición. Los estándares aceptados por la NASA son del 3%.
Lane HW, 2013 (25)	103 hombres y 26 mujeres	Contrastación de los resultados archivados por la NASA sobre sus astronautas.	Gasto energético, masa muscular y ósea y cambios en las habilidades visuales.	Se observa que el cambio del gasto energético y el desarrollo de cambios visuales no se ven afectados por el sexo, pero sí los cambios a nivel de masa muscular y ósea.
Basner M, 2014 (30)	6 hombres	Confinamiento de 520 días.	Síntomas depresivos, falta de actividad, confusión, mal estar general (MEG), cansancio, estrés, fatiga y <i>burnout</i> .	Los niveles de gravedad de estos síntomas aumentan con el tiempo en aislamiento. Además, cada persona reacciona de manera diferente.
Cucinotta FA, 2014 (32)	103 hombres y 26 mujeres	Contrastación de los resultados archivados por la NASA sobre sus astronautas.	Niveles de radiación en los astronautas.	Se estimó que la dosis de radiación recibida en la ISS es del 3% de la radiación para la muerte inducida.
Paula JS, 2016 (35)	103 hombres y 26 mujeres	Contrastación de los resultados archivados por la NASA sobre sus astronautas.	Cambios en las capacidades visuales, síntomas visuales como la visión borrosa y cambios anatómicos.	La falta de vitaminas B9 y B12 puede afectar el aplanamiento del globo ocular, aunque se cree que se ve más afectado por la microgravedad. No hay grandes diferencias entre sexos.

Smith SM, 2014 (36)	33 hombres y 9 mujeres	Contrastación de los resultados archivados por la NASA sobre sus astronautas.	Densitometría y biomarcadores sobre la resorción ósea en sangre y orina.	Aunque las mujeres pierdan más masa ósea en el VEH, los hombres tienen más riesgo de desarrollar cálculos renales.
Orwoll ES, 2013 (37)	28 hombres y 7 mujeres	Contrastación de los resultados archivados por la NASA sobre sus astronautas.	Densitometría.	Las mujeres pierden más masa ósea media.
Wotring VE, 2015 (41)	103 hombres y 26 mujeres	Contrastación de los resultados archivados por la NASA sobre sus astronautas.	Medicación utilizada.	Los medicamentos más utilizados son los somniaferos, antiálgicos y antihistamínicos.
Summers R, 2010 (42)	Hombre y mujer virtual	Simulación de los <i>g</i> experimentados al re-entrar a la atmósfera terrestre.	Tensión arterial.	Las mujeres tienen peor compensación fisiológica para la hipotensión ortostática.
Norsk P, 2015 (43)	8 hombres	Se compararon los resultados de la tensión arterial antes, durante y después de una estancia en la ISS.	Migración de fluidos y tensión arterial.	La tensión arterial baja durante el VEH.
Blaber E, 2014 (47)	Estudio <i>in vitro</i>	Se observó un cultivo de células madre en microgravedad.	Crecimiento de las células madre.	Las células respondieron de manera deficiente en comparación al grupo control en condiciones normales.
Chakraborty, 2014 (48)	Estudio <i>in vitro</i>	Se observó la respuesta humana a los patógenos en condiciones de microgravedad.	Respuesta de las células endoteliales humanas a patógenos.	Las células respondieron de manera deficiente en comparación al grupo control en condiciones normales.

Kim, 2013 (49)	Estudio <i>in vitro</i>	Se observó un cultivo de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> en microgravedad.	Crecimiento de biofilm de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .	La microgravedad provoca un mayor crecimiento de biofilm y mayor virulencia de la <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .
Tauber, 2017 (51)	Estudio <i>in vitro</i>	Exposición de macrófagos humanos a microgravedad.	Estabilidad de membrana	La membrana de los macrófagos se hace inestable cuando se expone a microgravedad.
Roberts DR, 2017 (52)	18 astronautas	Se observaron los cambios anatómicos del encéfalo mediante Resonancia Magnética Nuclear (RMN).	Cambios anatómicos en los surcos cerebrales.	Se observó estrechamiento del surco central, el desplazamiento hacia arriba del cerebro y la disminución de volumen de líquido cefalorraquídeo (LCR).
Cucinotta, 2015 (53)	103 hombres y 26 mujeres	Contrastación de los resultados archivados por la NASA sobre sus astronautas.	Niveles de radiación en los astronautas y sus síntomas.	Se estimó que una estancia segura para los astronautas son 300 y 400 días, respectivamente para mujeres y para hombres.
Tauber, 2015 (54)	Estudio <i>in vitro</i>	Exposición de linfocitos T humanos a microgravedad.	Respuesta de los linfocitos T.	La respuesta se vio disminuida.
Delp MD, 2016 (55)	37 hombres y 5 mujeres	Contrastación de los resultados archivados por la NASA sobre sus astronautas.	Enfermedad cardiovascular.	Los astronautas tienen mayor riesgo de muerte por enfermedad cardiovascular.

Imagen 1: Principales diferencias de los efectos del VEH entre hombres y mujeres (15)



Fuente: Imagen de la NASA en colaboración con el *National Space Biomedical Research Institute* (Instituto de Investigación Biomédica Espacial Nacional de Estados Unidos)

## Efectos del aislamiento

Las agencias espaciales ya conocen el hecho de que por muy bien que funcione un equipo durante los entrenamientos para las misiones, es inevitable que surja algún problema cuando solo interactúan con sus compañeros durante un periodo de tiempo de entre 3 a 12 meses (20,30).

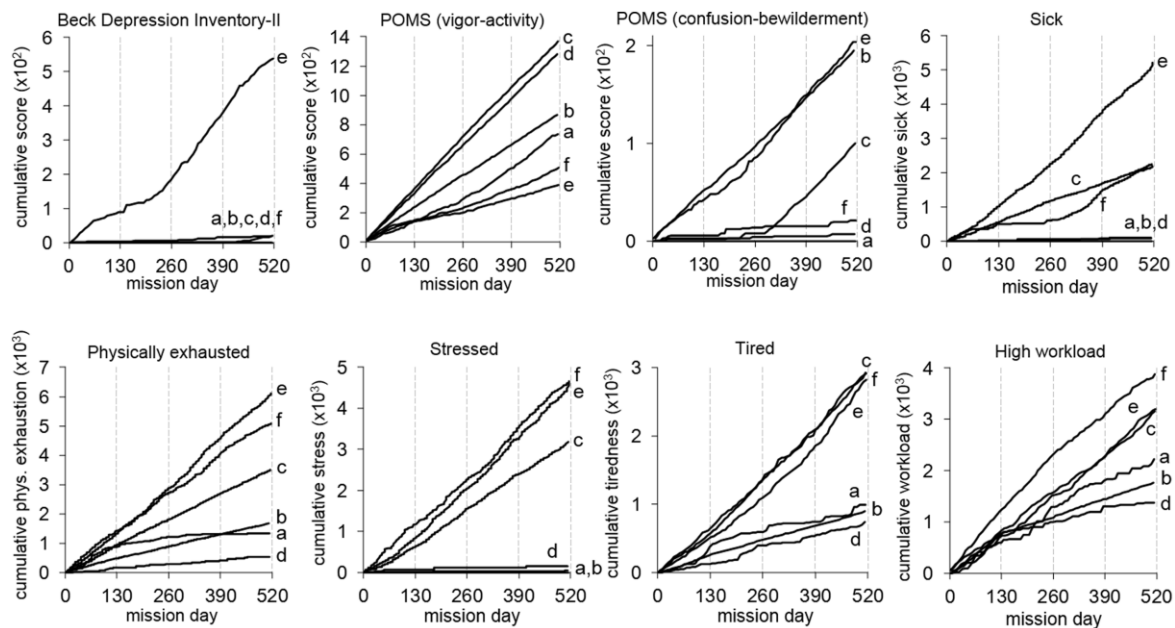
Los tipos de problemas que puede encontrar son una disminución en el estado de ánimo, la cognición, la moral o las interacciones interpersonales. Además, está demostrado que cuanto más confinados y aislados estén los seres humanos, es más probable que desarrollen afecciones conductuales o cognitivas y trastornos psiquiátricos (15). Todo esto puede llevar a elevar los niveles de estrés de la tripulación, que puede afectar de manera muy negativa su salud tanto física como psicológica (30).

No se han encontrado grandes diferencias en la dinámica de grupo entre hombres y mujeres, probablemente porque las agencias buscan a personas que sean capaces de trabajar en equipo y que sean resilientes, sea cual sea su sexo. Aun así, esto no se puede justificar, ya que no existen estudios hechos en mujeres

Un estudio encabezado por Basner en 2014 (30) demostró en una población de 6 hombres que los efectos del aislamiento que se podría producir en un viaje tripulado a Marte son acumulativos. Esto significa que cuanto más tiempo dure una misión, más graves son los síntomas de depresión, falta de actividad, confusión, MEG, cansancio, estrés, fatiga y *burnout*. Además, se observó que estos niveles no mejoran.



Figura 2: Resultados de las autoevaluaciones de los 6 tripulantes en el campo de los síntomas mencionados. Se observa como empeoran la mayoría de los resultados en el tiempo, especialmente en los individuos d, e y f (30).



Fuente: *Psychological and behavioral changes during confinement in a 520-day simulated interplanetary mission to Mars.*

## Efectos de la alimentación

La dieta inadecuada es un factor de riesgo muy importante en la práctica enfermera. Por ende, también lo es en el VEH, y por ello el equipo de Tierra se asegura que los astronautas tengan una dieta equilibrada rica en micro y macronutrientes.

Seguidamente se presentan algunos de los problemas que se pueden prevenir con una buena dieta total o parcialmente:

- Se ha demostrado que el cambio en las dioptrías de los astronautas está relacionado con los niveles bajos de vitamina B 9 y B 12, ya que interfieren en una vía enzimática que se ve afectada por su carencia (7). Por ello, es importante que la dieta de los astronautas sea rica en estas vitaminas para la prevención de este tipo de problemas visuales, aunque no se dejan de lado las demás vitaminas
- Siguiendo en la misma línea de las afecciones oculares, la falta de estas vitaminas también puede afectar el aplanamiento del globo ocular, aunque se cree que se ve más afectado por la microgravedad (35)
- En general, los astronautas no toman ningún suplemento alimentario aparte de vitamina D (25), ya que por la falta de exposición solar presentan bajos niveles de esta. Además, el

suplemento de esta vitamina en particular protege frente a la desmineralización ósea que se desarrolla durante el VEH. Esta desmineralización es más severa en mujeres por su predisposición genética (25,36,37), y por lo tanto mantener buenos niveles de vitamina D en mujeres es sumamente importante. Los cosmonautas, por otro lado, sí tienen probióticos como parte de su dieta

- Siguiendo en la línea de la desmineralización ósea, varios estudios indican que se debe encontrar un equilibrio entre un correcto aporte de calcio, sin que este pueda producir anemia (36), ya que el exceso de calcio no permite que el intestino asimile el hierro
- Según los protocolos de la ESA (25), el menú de la ISS se basa en un 17% en proteínas, un 31% en grasas y un 52% en carbohidratos. Los requerimientos calóricos de los astronautas durante el VEH son muy parecidos a los de la Tierra ya que el metabolismo basal baja por la falta de gravedad, pero hacen dos horas y media de ejercicio intenso, para compensar (25)
- Durante el VEH se produce gran anabolismo y aún mayor catabolismo de la masa muscular (25). Esto se da por el síndrome del desuso. Por esto, aumentan ligeramente el consumo de proteínas y hacen ejercicio (9)
- La comida es baja en sal (3 gramos al día) para que la puedan condimentar a su gusto (25). La comida en el espacio pierde gran parte de su sabor porque las papilas gustativas pierden parte de sus capacidades. Esto se da por la acumulación de líquido en la mitad superior del cuerpo debido a la microgravedad (38). Por ello, en la ISS se facilita sal en forma de solución hipertónica, ya que la sal de mesa no es segura en condiciones de microgravedad
- La dieta también influye en la moral de los astronautas. Haciendo que la comida sea sabrosa, agradable y apetecible, se les brinda a los astronautas cierto confort
- Un estudio (39) plantea que añadir probióticos a la dieta de las astronautas podría ser positivo porque son aún más susceptibles a las infecciones del tracto urinario (ITU). Esto se debe a que en condiciones de microgravedad la vejiga no se vacía correctamente. Podría ser beneficioso incluir probióticos a la dieta de todos los tripulantes, pero se desconoce si este tipo de preparados es lo suficientemente estable para que sea efectivo en condiciones espaciales. También se cree que los probióticos podrían ayudar a disminuir la ansiedad y aumentar el ritmo deposicional. Los *cosmonautas* sí consumen probióticos durante su estancia en el espacio.

## **Efectos de los antecedentes profesionales**

Los antecedentes profesionales solo parecen afectar a nivel de la selección de los astronautas. Aunque el proceso de selección haya cambiado, los solicitantes con servicio militar anterior tienen de 8 a 10 veces más probabilidades de ser seleccionados para el programa espacial (29). Esto se debe a que el estado físico de los candidatos de origen militar es mucho más apto para las pruebas físicas que el de los de origen civil, por norma general.

## **Efectos del confinamiento**

El confinamiento es el factor de riesgo más preocupante en el caso de haber un accidente grave en la ISS. Si surge cualquier emergencia médica, enviar al paciente de vuelta a la Tierra para una correcta atención sanitaria puede llevar 4 horas en condiciones óptimas. Esto conlleva que cualquier accidente pueda ser mortal, y por lo tanto sea necesario extremar en precauciones (20).

El confinamiento también puede causar cierto nivel de ansiedad, aislamiento y soledad. El hecho de estar confinado al espacio reducido de la ISS también puede causar claustrofobia y acrofobia o una posterior agorafobia (19).

## **Efectos del estrés**

El estrés es uno de los factores de riesgo con más variabilidad en la población de astronautas. Por ello, las agencias tienen muchas medidas para evitarlo en la medida de lo posible. Los astronautas en la ISS se encuentran bajo unos niveles de estrés moderados. Su apretada agenda y la imposibilidad de salir de un espacio reducido durante cierto tiempo tienen los efectos que se describen seguidamente:

- Provocan cambios en los estímulos sensitivos de los astronautas, ya que se pueden encontrar más irritables (38)
- El estrés tiene efectos sobre el estado de ánimo (16,30) y el sistema inmune (14) de manera negativa
- Ejemplos de los efectos sobre el estado de ánimo son la irritabilidad social, la hostilidad y los conflictos interpersonales como resultado de equipos internacionales con variados valores políticos y culturales (19)
- El estrés puede afectar al sistema inmune (40).
- En la Tierra, la ansiedad y los trastornos depresivos mayores son dos veces más comunes en mujeres que en hombres. No hay evidencia de que las mujeres astronautas

experimenten el mismo riesgo de trastornos depresivos y de ansiedad que sus contrapartes en la población general. Debido a que todos los candidatos a astronautas se someten a un sólido proceso de detección y selección psicológica, la probabilidad de diferencias sexuales en los trastornos afectivos puede reducirse

- No hay diferencias significativas entre hombres y mujeres en el estado de alerta, la autoevaluación de la carga de trabajo, el estrés, el cansancio o la calidad de sueño (16)
- Los astronautas experimentan grandes cambios en los ritmos circadianos. Esto se debe al hecho de que no hay indicios de que es de día o de noche y al estrés. Durante el VEH, una de las medicaciones más utilizadas son los somníferos (41)
- Los hombres ganan más peso que las mujeres por la falta de sueño (16)
- Por otro lado, la falta de sueño en mujeres produce efectos carcinogénicos (16)

### **Efectos de la fuerza $g$**

Una persona no entrenada puede soportar alrededor de 3  $g$ . Durante el despegue y aterrizaje, los astronautas se pueden exponer a una fuerza de hasta 6  $g$ . Esto puede llevar a la pérdida de conocimiento por la migración de los líquidos corporales hacia las piernas en personas no entrenadas (19). Está demostrado que las mujeres sufren más hipotensión ortostática por este motivo. La razón podría ser evolutiva, ya que las mujeres tienen el centro de gravedad entre un 8 y un 15% más bajo que los hombres (42).

### **Efectos de la genética**

Hay ciertas afecciones que afectan más a ciertos alelos, como puede ser el desarrollo de pliegues coroidales y edema del disco óptico (7), el desarrollo de cáncer (6) y el de problemas cardiovasculares (8). En el caso de los astronautas, no se hace estudio genético para eliminar a los candidatos que tengan alelos desfavorables para desarrollar estas enfermedades a día de hoy, pues es una práctica controvertida.

### **Efectos de la microgravedad**

Se ha demostrado que la exposición a la ingravidez tiene efectos nocivos en la salud humana, y aunque estos cambios son generalmente temporales, algunos tienen un impacto a largo plazo (38).

La exposición a corto plazo a la microgravedad causa el síndrome de adaptación espacial, una náusea autolimitada causada por la alteración del sistema vestibular (38). Por otro lado, la exposición a largo plazo causa múltiples problemas de salud que se describen a continuación:

- Uno de los efectos del VEH es el cambio en la dinámica de los fluidos corporales. La falta de gravedad provoca que la sangre se acumule más en la parte superior del cuerpo, provocando cambios en la irrigación y pudiendo llegar a provocar hipertensión ocular o intracraneal (43)
- Este cambio en la dinámica de fluidos también provoca hipotensión ortostática al volver a la gravedad de la Tierra. Los expertos aún no saben por qué provoca mayores problemas en mujeres (44), aunque se cree que puede tener que ver con la diferencia del posicionamiento del centro de gravedad entre hombres y mujeres (42)
- El sistema sensitivo también se ve afectado, ya que sin gravedad se pasa a tener solo la vista como referencia de la posición corporal (38). Esto se debe a que el oído interno no es capaz de hacer su función de manera correcta. Se ha observado tanto en hombres como en mujeres de manera similar una confusión temporal en los primeros días de exponerse a la microgravedad (45)
- Es normal que un astronauta necesite gafas durante su estancia en la ISS y después deje de necesitarlas al regresar a Tierra. No parece haber diferencias entre sexos en este campo. Esto se debe a un cambio en la forma del globo ocular por la migración de fluidos corporales hacia la parte superior del cuerpo (7)
- Otro efecto es la pérdida de masa muscular (9,13,46), que provoca un desacondicionamiento de la forma física de los astronautas. Esto perjudica su rendimiento, pudiendo aumentar el riesgo de lesiones y reducir su capacidad aeróbica. Esto puede causar un fracaso en la misión que se está llevando a cabo. La evidencia científica corrobora que en mujeres hay una variabilidad mucho mayor de pérdida muscular que en hombres (9)
- Seguidamente encontramos la desmineralización ósea. La gran diferencia entre hombres y mujeres en este campo es que la pérdida de calcio óseo es mayor en mujeres, dando lugar a posible mayor riesgo de osteoporosis en la vejez. Esto se da por mayor predisposición natural de las mujeres a perder masa ósea con la edad (9). La desmineralización ósea a su vez aumenta el riesgo de los astronautas de producir litiasis renal, que afecta más a hombres (36). También se ha demostrado que los individuos que tenían más masa muscular al principio de la exposición a la microgravedad pierden más masa durante su estancia (13)

- La microgravedad también afecta las células madre y la regeneración de tejidos. Esto puede afectar a los astronautas en la medida que causa cierto nivel de anemia, de inmunosupresión y una dificultad para recuperarse de las heridas (47)
- Varios estudios en la ISS y en la estación espacial Mir demostraron que los microorganismos que producen biofilms se vuelven más virulentos por la condición de microgravedad (48–50). Los riesgos de salud y seguridad relacionados con el desarrollo de biofilm virulento son más preocupantes por el hecho de que el VEH produce inmunosupresión (14,51)
- En condiciones de microgravedad el cerebro se desplaza hacia arriba y se estrechan sus surcos. Esto no ha demostrado tener efectos negativos a corto plazo, y el contenido del cráneo vuelve a su lugar original al volver a exponerse a la gravedad de la Tierra (52). También disminuye la cantidad de LCR (52)
- Se produce un aumento de la presión intracraneal que da lugar a inflamación del nervio óptico (35), que puede provocar la necesidad de utilizar gafas más frecuentemente en hombres
- Por otro lado, por el aumento de la presión intracraneal también cambia el sentido del gusto de los astronautas. Muchos acaban encontrando la comida insulsa, lo que provoca que la base terrestre tenga que preparar las dietas con más condimentos (38)
- Por último, los astronautas sufren de dolores articulares por la descompresión de las mismas ante la falta de gravedad (41)

## **Efectos de la radiación**

Sin la protección de la atmósfera terrestre y la magnetosfera, los astronautas están expuestos a altos niveles de radiación. Un año en órbita terrestre baja da equivalente a entre 100 a 1.000 veces la dosis anual normal en la Tierra, dependiendo de la cantidad de horas de actividades extravehiculares (EVA, por sus siglas en inglés de *Extravehicular Activities*) que realice el astronauta (18,19).

La mayoría de agencias espaciales solo permiten una exposición del 3% de la dosis de radiación que pueda causar síndrome de radiación aguda (18,32,53). Esto hace que, aunque los niveles a los que se exponen los astronautas sean mayores que una persona estándar, no sean peligrosos para la vida a corto plazo.

En primer lugar, daña la respuesta linfocitaria, que da lugar a bajas respuestas inmunes (54). Esto da lugar a riesgo de infecciones por la baja respuesta de los linfocitos T (51)

La radiación también se ha relacionado recientemente con una mayor incidencia de cataratas en astronautas (35) y con un aumento de padecer enfermedades cardiovasculares, específicamente el infarto agudo de miocardio (55)

Por último, la radiación puede provocar un aumento del riesgo de padecer cáncer, específicamente leucemia, cáncer esofágico, estomacal, de colon, de pulmón, vesical y ovárico (18). La NASA permite que sus astronautas se expongan a un 3% de su dosis letal por radiación. Se cree que de esta manera el riesgo de cáncer es del 5 al 10% (32)

Actualmente, los efectos de la radiación sobre el sistema nervioso no se pueden confirmar debido a la limitación de datos. Los datos existentes de muestras animales y celulares demuestran que la radiación tiene efectos a nivel molecular, estructural, funcional y de comportamiento. Un estudio en ratones respaldado por la NASA informó que la radiación puede dañar los tejidos cerebrales y acelerar el inicio de la enfermedad de Alzheimer (18,56). Por esta razón, si los resultados pueden ser extrapolados, estos efectos pueden ser preocupantes para la salud humana en el VEH

## **Prevención de los efectos del vuelo espacial**

La NASA cuenta con un programa llamado *Human Research Program*. El objetivo de dicha iniciativa es investigar y mitigar los riesgos para la salud humana derivados de la exploración espacial. A partir de la evidencia, se estudian los riesgos a los que los astronautas se exponen con el VEH. De aquí, se pasa a buscar las carencias que el programa de vigilancia de la salud que la agencia ofrece, y se crean protocolos de intervenciones para suplirlas (23).

### **El aislamiento**

Desde Tierra, se intenta en la medida de lo posible minimizar el aislamiento social que pueden experimentar los astronautas al solo interactuar con el resto de la tripulación de la ISS. Por ello, hoy en día se hacen eventos sociales y se permite disfrutar de videollamadas a familiares y amigos (20).

Por el proceso de selección por el que se filtran los candidatos a astronauta, se cree que no hay gran diferencia entre los efectos que sufren los y las astronautas por el aislamiento. Esto significa que se seleccionan de manera apropiada personas con gran capacidad de trabajar en equipo y superar la situación de aislamiento con éxito (30).

En este campo, enfermería se asegura del bienestar psicológico de los astronautas, valorando sus niveles de ansiedad que sufren por estar lejos de la Tierra (57,58).

### **La alimentación**

El menú de la ISS se basa en un 17% en proteínas, un 31% en grasas y un 52% en carbohidratos. Los requerimientos calóricos de los astronautas durante el VEH son muy parecidos a los de la Tierra ya que el metabolismo basal baja por la falta de gravedad, pero hacen dos horas y media de ejercicio intenso. La comida es baja en sal (3 gramos al día) para que la puedan condimentar a su gusto (25).

Enfermería se encarga de coordinar las dietas de los astronautas. Junto con dietistas, enfermería se encarga de conocer las preferencias alimentarias de los astronautas y crear menús para ellos durante los próximos 3 meses(57,58).



## Los antecedentes personales

La selección de astronautas se hace de manera igualitaria entre personas de origen civil y militar, pero por la naturaleza de las pruebas de selección, los candidatos que provienen del mundo militar tienen ciertas ventajas. Estas incluyen el estar en mejor forma física y que suelen tener más experiencia en pilotar aeronaves (59).

Se observan grandes diferencias entre hombres y mujeres en el origen profesional y personal de los candidatos. Estas se observan en la siguiente tabla (10).

*Tabla 2: Demografía de los astronautas en 2013 (10).*

	Hombres	Mujeres
<b>Tienen hijos</b>	67%	38%
<b>Tienen antecedentes profesionales militares</b>	73%	39%
<b>Tienen un doctorado</b>	28%	50%

Adaptado de *The Impact of Sex and Gender on Adaptation to Space: Executive Summary*

Esta demografía indica que las mujeres suelen poseer un origen civil y una educación más elevada. Por estos resultados, también se puede observar que ser madre y astronauta puede presentar más dificultades.

## El confinamiento

El confinamiento crea cierto nivel de ansiedad ante lo que pueda ocurrir durante la misión en los astronautas. Por esto, las agencias espaciales se aseguran de tener una buena comunicación con la ISS y evitar los accidentes al máximo (20).

Por otro lado, la mayoría del resto de efectos del confinamiento que se han descrito anteriormente se pueden prevenir con una buena selección y entrenamiento de los astronautas. Aun así, reciben apoyo psicológico desde la Tierra y tienen varios métodos de recreación para evitar el estrés y las tensiones entre los otros miembros de la misión. Por esto, las actividades grupales son clave en el bienestar de los astronautas, y se hacen semanalmente eventos para crear un vínculo entre ellos (19).

Igual que en el caso del aislamiento, enfermería se encarga de vigilar los niveles de temor y ansiedad de los astronautas mediante una comunicación abierta y directa con ellos(57,58).

## **El estrés**

El estrés de vivir en la ISS se intenta minimizar en todo lo posible con los mismos métodos que se evita el confinamiento (19,20). Además, se ha observado que la medicación más utilizada en la ISS son los somníferos (41). La principal causa de esto es el hecho de que los ritmos circadianos se ven afectados por el hecho de que los astronautas no pueden utilizar el amanecer y anochecer como referencia (30), pero también podría relacionarse con el estrés aumentado. Por tanto, los astronautas utilizan somníferos porque en parte no pueden conciliar el sueño por el estrés.

Igual que en el caso del aislamiento y el confinamiento, enfermería vigila el bienestar psicológico de la tripulación para asegurar el éxito de su misión (57,58).

## **La fuerza g**

Los astronautas se posicionan horizontalmente en la nave al despegar y aterrizar para que los líquidos corporales migren en menor medida a las extremidades inferiores. Además, llevan un traje especial que crea presión sobre brazos y piernas para que la sangre se mantenga en la parte superior del cuerpo (19).

## **La genética**

Hoy en día no se hace cribado de los posibles alelos patológicos que tengan los candidatos.

## **La microgravedad**

Aun teniendo una apretada agenda basada en la investigación, los astronautas en la ISS dedican a la actividad física aproximadamente dos horas y media al día. Si no hacen ejercicio, comienzan a perder masa ósea y muscular, lo que significa una pérdida de volumen y fuerza, debilitando su salud y sus capacidades motoras (15).

La microgravedad también provoca intolerancia ortostática (45,60). Esto se da por el hecho de que durante el periodo de ingravidez casi absoluta, el cuerpo de los astronautas no está acostumbrado a contrarrestar los cambios en la dinámica de los fluidos corporales haciendo cambios en la frecuencia cardíaca y la presión arterial. Esto da lugar a la propensión a padecer de

mareos y posibles desmayos por disminución de la irrigación cerebral, aunque esto solo se da una vez han vuelto a la Tierra (57,58).

Los tres ejercicios principales que se realizan en la ISS son (20):

- **Cicloergómetro:** Es similar a una bicicleta estática, solo que está adaptada a las condiciones especiales en las que se encuentran en la ISS, con arneses y correas que mantienen al astronauta sentado. Este ejercicio permite monitorizar la frecuencia cardíaca, y por lo tanto hacer un entrenamiento óptimo del corazón
- **Cinta de correr:** Los arneses que sujetan a los astronautas a la cinta hace que esta máquina haga un ejercicio muy similar a utilizar una cinta de correr en la Tierra
- **Dispositivo de ejercicio de resistencia:** Es similar a una máquina de pesas. Para usarlo, los astronautas tiran y retuercen cables elásticos semejantes a bandas de goma unidos a poleas. Se pueden ejercitar todos los grupos musculares con él

La masa muscular puede recuperarse de manera relativamente sencilla con terapia, pero la masa ósea no es tan fácil de recuperar. En la Tierra, después de los 50 años se pierde alrededor del 10% de la masa ósea cada 10 años. Los astronautas pierden aproximadamente de un 1 a un 2% cada mes que están en el espacio (12,37). Por lo tanto, para las estancias prolongadas el ejercicio es altamente importante.

En este campo, enfermería se debe asegurar de que la tripulación hace sus ejercicios profilácticos, sigue una dieta equilibrada y no tiene dolor. La función de enfermería en el campo del manejo del dolor ha demostrado ser muy importante en la práctica diaria (61).

## **La radiación**

Un gran riesgo para la salud de los astronautas en el espacio es la exposición a la radiación que puede alterar los tejidos e incluso el ADN (32). En el espacio, no hay atmósfera que proteja a los astronautas de la radiación, ya que el campo electromagnético de la Tierra no presta la protección que normalmente tienen los humanos en la Tierra. Por esta razón, los trajes espaciales y la ISS tienen un blindaje especial que ayuda a proteger a los astronautas de los rayos cósmicos. Además, hay sensores en la ISS que alertan de una subida de los niveles de radiación por encima de los máximos permitidos. La NASA está investigando nuevas formas de proteger a los astronautas, aunque hoy en día lo más utilizado es el blindaje de plomo (20), similar al que se usa al hacer una

radiografía. La ESA está actualmente probando materiales que protejan de la radiación, evaluando materiales como el aluminio, polietileno o estructuras multicapa (62).

Varios estudios han informado de la existencia de una correlación de la exposición a la radiación cósmica en la ISS y un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares (55), cáncer (40), trastornos del sistema nervioso central (45) y síndrome de radiación aguda (en situaciones extremas, cosa que no se ha encontrado hasta la fecha). Por ello, es importante evitarla en todo lo posible.

Enfermería colabora en las revisiones periódicas que se recomienda que se hagan los astronautas. Una de las pruebas es el control de los niveles de radiación (57,58).

## **Funciones de enfermería en la exploración espacial humana**

La especialidad de enfermería que trabaja en el campo de la exploración espacial humana es la enfermería aeroespacial. Esta tiene dos vertientes: por un lado, la enfermería aérea, que se encarga de la salud de los pilotos de por ejemplo aviones de reacción, y por el otro, la enfermería espacial, que se encarga de la salud de los astronautas (4).

En el campo de la enfermería espacial, los profesionales están involucrados específicamente en el cuidado de los astronautas antes, durante y después de la misión. Tienen un papel especialmente activo antes del lanzamiento y en el aterrizaje, pues son los dos momentos más peligrosos de una misión (57).

Las funciones de enfermería en la NASA son (58):

- Educación para la salud a los astronautas
- Instrucción en conocimientos sobre primeros auxilios a los astronautas
- Prestación de servicios de salud a los astronautas y sus familias
- Monitorización de la salud de los astronautas antes, durante y después de la misión.
- Prestación de primeros auxilios en el caso de que un astronauta se encuentre mal antes o después de una misión
- Coordinación los servicios dietéticos y de actividad física durante la misión
- Investigación sobre los EVEH, como prevenirlos y tratarlos

### **Función docente**

Enfermería tiene la función de educar para la salud a los astronautas. Esto incluye proporcionarles conocimientos para mantenerse saludables, como hacer ejercicio, tener una dieta equilibrada y presentarse a las revisiones periódicas. Aquí entramos en el campo de la salutogénesis, donde enfermería tiene un papel tan importante.

La salutogénesis se diferencia del modelo tradicional en la manera que se busca la promoción de la salud de manera positiva. Los profesionales de la salud, en vez de centrarse en la protección y prevención de enfermedades, se esfuerzan en reducir los factores de riesgo mediante hábitos saludables o generadores de salud. Esto permite además el empoderamiento de las personas sobre su propia salud, pues son éstas quienes tienen el poder de mantenerse saludables (63). Los

astronautas presentan gran motivación para mantenerse saludables, pues si este no es el caso, no pueden comenzar una misión espacial, y por lo tanto no pueden hacer su trabajo (64).

También instruyen a los astronautas en primeros auxilios para que puedan manejar de manera independiente la situación en el raro caso de un accidente en el espacio (58). Estos primeros auxilios incluyen conocimientos sobre qué hacer en caso de una herida, un traumatismo o una parada cardiorrespiratoria, por ejemplo. Los astronautas también son instruidos en la técnica para la extracción de muestras sanguíneas, pues estas muestras pueden ser enviadas a la Tierra y analizadas. Los resultados de estas analíticas son de gran valor científico, ya que se puede analizar los valores y relacionarlos con los EVEH.

Por último, se encargan de formar futuras generaciones de enfermeros y enfermeras espaciales. En la NASA, se instruye un curso de 20 semanas cuando falta personal para habituarse a los cuidados especializados de este campo de la enfermería (58).

## **Función asistencial**

Los EVEH no dejan de ser un riesgo laboral. Los astronautas están de acuerdo con sufrirlos en la medida de lo inevitable, pero enfermería, como parte de su equipo interdisciplinario en salud, tiene la misión de mitigarlos en todo lo posible. Por ello, trabaja junto con otros profesionales para mantener la buena salud de los astronautas.

Una enfermera de la Clínica de Medicina Espacial (FMC, de sus siglas en inglés *Flight Medicine Clinic*), Peggy Dryden, en una entrevista para Medscape comenta (64): “La FMC en el Centro Espacial Kennedy (KSC, *Kennedy Space Center*) es muy similar a cualquier ambulatorio, a excepción de los pacientes atendidos. Los pacientes son astronautas internacionales, sus familias, pilotos e ingenieros de la NASA. Una de las principales funciones es realizar exámenes completos de calificación física, tanto para los astronautas titulados como los candidatos. En general, los astronautas tienen buena salud, y además están muy motivados para mantenerse saludables, ya que si no es así no están cualificados para el VEH”.

Así pues, enfermería se encarga de colaborar con otros profesionales para mantener la salud de los astronautas y hacer revisiones periódicas para confirmar que son aptos para el VEH. Estas revisiones incluyen una revisión física y psíquica. Aquí enfermería mantiene un registro de las constantes vitales de los astronautas, junto a otras características, como su peso o porcentaje de

masa magra y grasa. También hacen otras pruebas diagnósticas, como el índice tobillo-brazo, para detectar enfermedades cardiovasculares de manera temprana (57,58).

Por otro lado, está el equipo de enfermería que se encarga del bienestar de los astronautas en la pista. Este equipo es experto en situaciones de urgencia, pues es aquí donde la vida de los astronautas está más en peligro por lo que pueda pasar (57). El equipo está entrenado para la atención de astronautas en el caso de un accidente durante el despegue y aterrizaje. Estos accidentes suelen ser mortales a menos que no se actúe de manera rápida y precisa. Este equipo también brinda apoyo a los astronautas en el caso de que no se encuentren bien antes o después de su vuelo. Los factores que más pueden influir antes de un vuelo espacial son el temor y el estrés. Los que más pueden influir al aterrizar es el síndrome conocido como el síndrome de reentrada.

Durante el despegue y aterrizaje, los astronautas experimentan varias veces la gravedad normal ( $g$ ). Si por cualquier razón llegan a punto de  $g$ -LOC durante estas dos maniobras, enfermería está ahí para ayudarles a volver a la conciencia.

### **Función gestora**

Enfermería observa la salud de los astronautas de manera holística. Por esto, se encarga de que éstos hagan sus ejercicios profilácticos y sigan una dieta equilibrada. Estas dos intervenciones son las más importantes para mantener la buena salud de los astronautas durante la misión, pero también pueden ser una fuente de estrés. Esto es porque la actividad física lleva mucho tiempo, casi 3 horas, y los astronautas tienen una agenda apretada, por lo que puede ser problemático llevarlo a cabo sin sufrir de sobrecarga de trabajo. Por esto, enfermería se encarga de mantener la moral de los astronautas durante la misión para que lleven a cabo las actividades que promuevan su salud (58).

Enfermería también se encarga de gestionar la información sobre la salud de los astronautas que recoge, como pueden ser sus constantes vitales.

### **Función investigadora**

Por último, enfermería investiga los EVEH, su prevención y tratamiento. Para ello, la NASA ha ideado un programa para la vigilancia de la salud de los astronautas. El programa de vigilancia ocupacional *Lifetime Surveillance of Astronaut Health* se utiliza para detectar, monitorizar y

categorizar a los astronautas por lesiones o enfermedades relacionadas con su trabajo. Este programa examina la morbilidad y mortalidad aguda y crónica de los astronautas, y define los riesgos de morbilidad y mortalidad asociados al VEH (65).

A partir de la evidencia obtenida y los patrones encontrados, se diseñan exámenes físicos de seguimiento adaptados a los EVEH. Esto permite una evaluación sistemática de la salud de los astronautas para detectar posibles problemas de salud de forma temprana y para facilitar la acción para prevenir el desarrollo o la progresión de enfermedades relacionadas con el trabajo. Los análisis estadísticos se llevan a cabo para apoyar la atención médica que reciben los astronautas (65).



## Conclusiones

La evidencia científica demuestra que los EVEH son muy amplios y variados. Estos afectan a los astronautas a nivel biopsicosocial, lo que significa que se deben tratar sus afecciones de manera holística. Además, los EVEH cambian mucho de hombres a mujeres, pero esto no conlleva que las mujeres se encuentren en desventaja para ser seleccionadas si cumplen los requisitos que ponen las agencias espaciales para ser astronauta.

A nivel biológico, el vuelo espacial afecta la salud de los humanos en todos los sistemas. La salud de los astronautas es muy importante para el éxito de una misión, y si todos sus sistemas (inmune, gastrointestinal, cardiovascular, entre otros) están en peligro, significa que hay más probabilidades de que caiga gravemente enfermo durante su estancia en el espacio. A día de hoy no hay ninguna manera de contrarrestar todos los factores de riesgo del entorno espacial, ya que la mayoría son inevitables. Por ello, el equipo de Tierra debe hacer todo lo posible para mitigar el efecto de estos factores mediante prevención.

Esta prevención se hace mediante la planificación de una dieta equilibrada y de ejercicio físico que contrarresta la falta de gravedad, manteniendo activos a los astronautas.

Para tener un trabajo como astronauta, las agencias hoy en día no buscan a gente totalmente sana, si no a personas saludables. Esto significa que pueden tener pequeñas dolencias que estén controladas, como el uso de gafas o alergias ambientales.

Por otro lado, a nivel psicológico los astronautas se ven expuestos a altos niveles de ansiedad, estrés, temor, y otras emociones que tienen un efecto muy negativo tanto en su salud mental como física. Por ello, es importante que el equipo de Tierra los mantenga en una salud psicológica óptima.

La prevención de los efectos psicológicos del VEH se hace mediante el apoyo psicológico y el entretenimiento. Manteniendo a los astronautas ocupados y sociables (haciendo eventos sociales y manteniéndolos en contacto con su familia y amigos) se previenen en gran medida los efectos negativos del aislamiento y confinamiento que sufren.

Socialmente, la carrera astronáutica afecta tanto a hombres como a mujeres. Los astronautas tienen un tipo de trabajo muy estresante que les separa de sus relaciones sociales durante largos

periodos de tiempo si practican el VEH. Se ha observado durante la realización de este trabajo que las mujeres astronautas son menos propensas a convertirse en madres, probablemente por el hecho de que se verían separadas de sus hijos en algún momento de su vida.

Con esta búsqueda bibliográfica, se ha demostrado que el vuelo espacial humano afecta de manera muy distinta a hombre y a mujeres. Además, éstas segundas parecen tener una desventaja biológica, ya que la mayoría de los EVEH se mostraron de manera más agresiva en esta población. Conocer las diferencias entre sexos en la adaptación a la vida en el espacio es interesante, ya que podría explicar el hecho de que solo el 20% de las personas que han ido al espacio eran mujeres.

Como conclusión final, se ha observado que es necesaria más información sobre los riesgos del VEH, su prevención y su tratamiento si se planea realizar un viaje y estancia en Marte en el futuro próximo. Se ha observado que los EVEH son proporcionales a la estancia. Además, la incertidumbre de lo que pueda pasar en una misión espacial de este calibre puede provocar unos altos niveles de estrés, ansiedad y temor en la tripulación. Todo esto podría llevar al fracaso de la misión.

Por último, cabe decir que en el momento que se planea hacer estancias en el espacio más prolongadas, las agencias espaciales necesitarán un equipo de profesionales sanitarios preparados más extenso. Así pues, la enfermería espacial podría hacerse más presente en el día a día.

## Bibliografía

1. ABC. Y más allá..., la Luna. ABC. Madrid; 1969 Jun 22;1–3.
2. ABC. Rusia lanza con éxito el primer hombre al espacio. ABC. Madrid; 1961 Apr 13;49.
3. ABC. La primera pareja del espacio. ABC. Madrid; 1963 Jun 23;71.
4. Plush L, O'Rangers E. Healthcare Aloft: An overview of the state of healthcare in the US Space Program. *Expand Horizons*. 2008;13(1):5–10.
5. Siddiqi AA. Valery Vladimirovich Polyakov. 1st ed. Britannica. Encyclopaedia Britannica; 2017. p. 1.
6. Pomerantz MM, Freedman ML. The genetics of cancer risk. *Cancer J*. NIH Public Access; 2011;17(6):416–22.
7. Zwart SR, Gregory JF, Zeisel SH, Gibson CR, Mader TH, Kinchen JM, et al. Genotype, B-vitamin status, and androgens affect spaceflight-induced ophthalmic changes. *FASEB J*. 2016;30(1):141–8.
8. Kathiresan S, Srivastava D. Genetics of human cardiovascular disease. *Cell*. NIH Public Access; 2012 Mar 16;148(6):1242–57.
9. Ploutz-Snyder L, Bloomfield S, Smith SM, Hunter SK, Templeton K, Bemben D. Effects of sex and gender on adaptation to space: Musculoskeletal health. *J Women's Heal*. 2014 Nov;23(11):963–6.
10. Mark S, Scott GBI, Donoviel DB, Leveton LB, Mahoney E, Charles JB, et al. The impact of sex and gender on adaptation to space: Executive summary. *J Women's Heal*. 2014 Nov;23(11):941–7.
11. Watenpaugh DE. Analogs of microgravity: Head-down tilt and water immersion. *J Appl Physiol*. 2016 Apr 15;120(8):904–14.
12. Amin S. Mechanical factors and bone health: Effects of weightlessness and neurologic injury. *Curr Rheumatol Rep*. 2010 Jun 20;12(3):170–6.
13. Schneider SM, Lee SMC, Feiveson AH, Watenpaugh DE, Macias BR, Hargens AR. Treadmill exercise within lower body negative pressure protects leg lean tissue mass and extensor strength and endurance during bed rest. *Physiol Rep*. 2016 Aug 5;4(15):1–14.
14. Kennedy AR, Crucian B, Huff JL, Klein SL, Morens D, Murasko D, et al. Effects of sex and gender on adaptation to space: Immune system. *J Women's Heal*. 2014 Nov;23(11):956–8.
15. Gushanas T, Lloyd CW, Abadie LJ, Shelhamer MJ. The Human Body in Space [Internet]. National Aeronautics and Space Administration. 2016 [cited 2018 Jan 17]. p. 5. Available from: <https://www.nasa.gov/hrp/bodyinspace>

16. Goel N, Bale TL, Epperson CN, Kornstein SG, Leon GR, Palinkas LA, et al. Effects of sex and gender on adaptation to space: Behavioral health. *J Women's Heal.* 2014 Nov;23(11):975–86.
17. Serway RA, Jewett JW, Perroomian V. *Physics for scientists and engineers.* 9th ed. New York; 2013. 25 p.
18. Cucinotta FA, Kim MHY, Chappell LJ, Huff JL. How safe is safe enough? Radiation risk for a human mission to Mars. Golden AA-J, editor. *PLoS One.* 2013 Oct 16;8(10):e74988.
19. Mac'Taggart K. *Astronaut 1961 onwards: Owners' Workshop Manual.* 1st ed. Sparkford: Haynes; 2017. 187 p.
20. Baker D. *International Space Station 1998-2011 (all stages): Owners' Workshop Manual.* 2nd ed. Sparkford: Haynes; 2012. 172 p.
21. World Health Organization. *Gender, equality and human rights: Gender.* World Health Organization. World Health Organization; 2017. p. 2.
22. Jefatura del Estado Español. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales. 1995.
23. Dave Hanson. *Human Research Roadmap* [Internet]. National Aeronautics and Space Administration. 2017 [cited 2018 Feb 1]. p. 1. Available from: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/>
24. European Space Agency. *Training and supporting astronauts* [Internet]. 2013 [cited 2018 Mar 4]. p. 2. Available from: [http://www.esa.int/About\\_Us/EAC/Training\\_and\\_supporting\\_astronauts](http://www.esa.int/About_Us/EAC/Training_and_supporting_astronauts)
25. Lane HW, Bourland C, Barrett A, Heer M, Smith SM. The role of nutritional research in the success of human space flight. *Adv Nutr An Int Rev J.* 2013 Sep 1;4(5):521–3.
26. May S. *Eating in Space* [Internet]. National Aeronautics and Space Administration. 2015 [cited 2018 Apr 1]. p. 2. Available from: [https://www.nasa.gov/audience/foreducators/stem-on-station/ditl\\_eating](https://www.nasa.gov/audience/foreducators/stem-on-station/ditl_eating)
27. Zwart SR, Crawford GE, Gillman PL, Kala G, Rodgers AS, Rogers A, et al. Effects of 21 days of bed rest, with or without artificial gravity, on nutritional status of humans. *J Appl Physiol.* 2009 Jul 1;107(1):54–62.
28. Collins D. *Astronaut Requirements* [Internet]. National Aeronautics and Space Administration. Brian Dunbar; 2015 [cited 2018 Apr 1]. p. 3. Available from: [https://www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F\\_Astronaut\\_Requirements.html](https://www.nasa.gov/audience/forstudents/postsecondary/features/F_Astronaut_Requirements.html)
29. Kovacs GTA, Shadden M. Analysis of age as a factor in NASA astronaut selection and

- career landmarks. Reddy S V., editor. PLoS One. 2017 Jul 27;12(7):e0181381.
30. Basner M, Dinges DF, Mollicone DJ, Savelev I, Ecker AJ, Di Antonio A, et al. Psychological and behavioral changes during confinement in a 520-day simulated interplanetary mission to Mars. Goswami N, editor. PLoS One. 2014 Mar 27;9(3):e93298.
  31. Nicogossian AE, Williams RS, Huntoon CL, Doarn C, Polk JD, Schneider VS. Space physiology and medicine: From evidence to practice. 4th ed. Springer International Publishing; 2016. 509 p.
  32. Cucinotta FA. Space radiation risks for astronauts on multiple International Space Station missions. Janssen PJ, editor. PLoS One. 2014 Apr 23;9(4):e96099.
  33. Reynolds RJ, Day SM. Mortality among U.S. astronauts: 1980-2009. Aviat Space Environ Med. 2010 Nov;81(11):1024–7.
  34. Wilson J. Journey to Mars Overview [Internet]. National Aeronautics and Space Administration. 2017 [cited 2017 Dec 26]. p. 4. Available from: <https://www.nasa.gov/content/journey-to-mars-overview>
  35. Paula JS, Asrani SG, Rocha EM. Microgravity-induced ocular changes in astronauts: A sight odyssey. Arq Bras Oftalmol. 2016;79(4):v–vi.
  36. Smith SM, Zwart SR, Heer M, Hudson EK, Shackelford L, Morgan JLL. Men and women in space: Bone loss and kidney stone risk after long-duration spaceflight. J Bone Miner Res. 2014 Jul;29(7):1639–45.
  37. Orwoll ES, Adler RA, Amin S, Binkley N, Lewiecki EM, Petak SM, et al. Skeletal health in long-duration astronauts: nature, assessment, and management recommendations from the NASA Bone Summit. J Bone Miner Res. 2013 Jun;28(6):1243–55.
  38. Reschke MF, Cohen HS, Cerisano JM, Clayton JA, Cromwell R, Danielson RW, et al. Effects of sex and gender on adaptation to space: Neurosensory system. J Women's Heal. 2014;23(11):959–62.
  39. Urbaniak C, Reid G. The potential influence of the microbiota and probiotics on women during long spaceflights. Women's Heal. 2016;12(2):193–8.
  40. Li M, Gonon G, Buonanno M, Autavapromporn N, de Toledo SM, Pain D, et al. Health risks of space exploration: Targeted and nontargeted oxidative injury by high-charge and high-energy particles. Antioxid Redox Signal. 2014 Mar 20;20(9):1501–23.
  41. Wotring VE. Medication use by U.S. crewmembers on the International Space Station. FASEB J. 2015 Nov 1;29(11):4417–23.
  42. Summers RL, Platts S, Myers JG, Coleman TG. Theoretical analysis of the mechanisms of a gender differentiation in the propensity for orthostatic intolerance after spaceflight.

- Theor Biol Med Model. 2010 Mar 18;7(1):8.
43. Norsk P, Asmar A, Damgaard M, Christensen NJ. Fluid shifts, vasodilatation and ambulatory blood pressure reduction during long duration spaceflight. *J Physiol*. 2015 Feb 1;593(3):573–84.
  44. Platts SH, Bairey Merz CN, Barr Y, Fu Q, Gulati M, Hughson R, et al. Effects of sex and gender on adaptation to space: Cardiovascular alterations. *J Women's Heal*. 2014 Nov;23(11):950–5.
  45. Mandsager KT, Robertson D, Diedrich A. The function of the autonomic nervous system during spaceflight. *Clin Auton Res*. 2015 Jun 29;25(3):141–51.
  46. Zhu H, Wang H, Liu Z. Effects of real and simulated weightlessness on the cardiac and peripheral vascular functions of humans: A review. *Int J Occup Med Environ Health*. 2015 Jul 27;28(5):793–802.
  47. Blaber E, Sato K, Almeida EAC. Stem cell health and tissue regeneration in microgravity. *Stem Cells Dev*. 2014 Dec;23 Suppl 1(S1):73–8.
  48. Chakraborty N, Gautam A, Muhie S, Miller S-A, Jett M, Hammamieh R. An integrated omics analysis: Impact of microgravity on host response to lipopolysaccharide in vitro. *BMC Genomics*. 2014 Aug 7;15(1):659.
  49. Kim W, Tengra FK, Young Z, Shong J, Marchand N, Chan HK, et al. Spaceflight Promotes Biofilm Formation by *Pseudomonas aeruginosa*. Beloin C, editor. *PLoS One*. 2013 Apr 29;8(4):e62437.
  50. Horneck G, Klaus DM, Mancinelli RL. Space Microbiology. *Microbiol Mol Biol Rev*. 2010 Mar 1;74(1):121–56.
  51. Tauber S, Hauschild S, Paulsen K, Gutewort A, Raig C, Hürlimann E, et al. Signal transduction in primary human T lymphocytes in altered gravity during parabolic flight and clinostat experiments. *Cell Physiol Biochem*. 2015;35(3):1034–51.
  52. Roberts DR, Albrecht MH, Collins HR, Asemani D, Chatterjee AR, Spampinato MV, et al. Effects of Spaceflight on Astronaut Brain Structure as Indicated on MRI. *N Engl J Med*. Massachusetts Medical Society; 2017 Nov 2;377(18):1746–53.
  53. Cucinotta FA, Alp M, Rowedder B, Kim MHY. Safe days in space with acceptable uncertainty from space radiation exposure. *Life Sci Sp Res*. Elsevier Ltd; 2015;5:31–8.
  54. Tauber S, Lauber BA, Paulsen K, Layer LE, Lehmann M, Hauschild S, et al. Cytoskeletal stability and metabolic alterations in primary human macrophages in long-term microgravity. Reddy S V., editor. *PLoS One*. 2017 Apr 18;12(4):e0175599.
  55. Delp MD, Charvat JM, Limoli CL, Globus RK, Ghosh P. Apollo lunar astronauts show

- higher cardiovascular disease mortality: Possible deep space radiation effects on the vascular endothelium. *Sci Rep. Nature Publishing Group*; 2016 Sep 28;6(1):29901.
56. Cherry JD, Liu B, Frost JL, Lemere CA, Williams JP, Olschowka JA, et al. Galactic Cosmic Radiation Leads to Cognitive Impairment and Increased A $\beta$  Plaque Accumulation in a Mouse Model of Alzheimer's Disease. Feinstein DL, editor. *PLoS One. Public Library of Science*; 2012 Dec 31;7(12):e53275.
  57. Czerwinski BS, Plush LH, Bailes BK. Nurses' contributions to the US space program. *AORN J*. 2000 May;71(5):1051–7.
  58. Symanski ME. A Nurse on Mars? Why Not? *Am J Nurs*. 2000;100(10):57–61.
  59. Kovacs GTA, Shadden M. Analysis of age as a factor in NASA astronaut selection and career landmarks. Reddy S V., editor. *PLoS One. Public Library of Science*; 2017 Jul 27;12(7):e0181381.
  60. Truijen J, Bundgaard-Nielsen M, van Lieshout JJ. A definition of normovolaemia and consequences for cardiovascular control during orthostatic and environmental stress. *Eur J Appl Physiol*. 2010 May 7;109(2):141–57.
  61. Swearingen PL. *Manual de enfermería médico-quirúrgica : intervenciones enfermeras y tratamientos interdisciplinarios*. Barcelona [etc.] : Elsevier; 2008.
  62. Hall L. Passive Radiation Shielding [Internet]. National Aeronautics and Space Administration. 2016 [cited 2018 Mar 4]. p. 2. Available from: [https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/strg/nstrf2016/Passive\\_Radiation\\_Shielding](https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/strg/nstrf2016/Passive_Radiation_Shielding)
  63. Juvinya-Canal D. Salutogénesis, nuevas perspectivas para promover la salud. *Enfermería Clínica*. Elsevier; 2013 May;23(3):87–8.
  64. Dryden P. Preparing for space travel: Nursing at NASA. *Medscape*. 2005;2.
  65. Callini C. Lifetime Surveillance of Astronaut Health (LSAH) [Internet]. National Aeronautics and Space Administration. 2015 [cited 2018 Apr 5]. p. 1. Available from: <https://www.nasa.gov/feature/lifetime-surveillance-of-astronaut-health-lsah>